

- quasioptimal control using statistical simulation modelling]. *Infokommunikatsionnyye tekhnologii*, 2017, vol. 15, no. 3, pp. 205-217. doi: 10.18469/ikt.2017.15.3.01.
6. Dimov E.M. *Imitacionnoe modelirovanie i algoritimizaciya upravleniya diskretno-nepreryvnym proizvodstvom* [Simulation and algorithmization of control of discrete-continuous production]. Diss ... doct. techn. science, Tashkent, 1990. 306 p.
  7. Buslenko N.P. *Modelirovaniye slozhnykh sistem* [Modeling complex systems]. Moscow, Nau-ka, 1968. 380 p.
  8. Golenko D.N. *Statisticheskiye modeli v upravlenii proizvodstvom* [Statistical models in production management]. Moscow, Statistika Publ., 1973. 368 p.
  9. Dimov E.M., Maslov O.N., Troshin Y.V. Snizhenie neopredelennosti vybora upravlencheskih peshenij s pomoshh'yu metoda statisticheskogo imitacionnogo modelirovaniya [Reducing Uncertainty in a Choice of Management Decisions Using Statistical Simulation]. *Informacionnyye tekhnologii*, 2014, no. 6, pp. 51-57.
  10. Anufriev D.P., Dimov E.M., Maslov O.N., Troshin Y.V. Statisticheskoe imitacionnoe modelirovanie i upravlenie biznes-processami v social'no-ehkonomicheskikh sistemah [Statistical simulation modeling and management of business processes in socio-economic systems]. Astrahan, AstrISMI Publ. 2015. 365 p.
  11. Savitskiy G.A. *Antenno-machtovyye sooruzheniya* [Antenna mast structures]. Moscow, Svyazizdat Publ., 1962. 230 p.

Received 16.07.2018

## ТЕХНОЛОГИИ РАДИОСВЯЗИ, РАДИОВЕЩАНИЯ И ТЕЛЕВИДЕНИЯ

УДК 654.165

### ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАДИОЧАСТОТНОГО РЕСУРСА РАДИОРЕЛЕЙНЫМИ ЛИНИЯМИ СВЯЗИ

*Шмаков Д.Б., Газизов Т.Р.*

*Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Томск, РФ*

*E-mail: dshrfc@gmail.com*

Рассматривается проблема эффективного использования ограниченного природного ресурса – радиочастотного спектра. Показано, что имеет место дефицит свободного радиочастотного ресурса в отдельных диапазонах радиочастот. На примере Томской области выполнена оценка эффективности использования радиочастотного спектра радиорелейными линиями диапазона 8 ГГц. Для проведения оценки выполнены расчеты потерь при распространении радиоволн и запаса на замирания на интервалах радиорелейной линии. При проведении расчетов использованы данные о подстилающей поверхности местности, полученные методом дистанционного зондирования земли с точностью до одной угловой секунды. Предложены возможные решения для повышения эффективности использования радиочастотного спектра.

**Ключевые слова:** управление радиочастотным спектром, радиорелейная линия, оценка эффективности

#### Введение

Радиосвязь продолжает играть важную роль в формировании информационной среды, которая необходима для стабильного развития производственного и научного потенциала страны, поддержания ее обороноспособности, а также для решения важных практических задач в социальной сфере и в государственном управлении за счет создания качественных систем коммуникации. Развитие инфраструктуры связи является важным фактором, способствующим росту деловой активности в стране и существенно влияющим на ее экономику. Отрасль связи РФ динамично развивается – происходит активное развертыва-

ние сотовых сетей связи четвертого и третьего поколений. При этом объем данных, передаваемых по этим сетям, ежегодно возрастает [1].

Роль цифровых радиорелейных линий связи (ЦРРЛ) в функционировании и развитии инфраструктуры связи России по-прежнему велика. Неравномерность распределения населения по территории страны обуславливает существование больших по площади слабозаселенных территорий с неразвитой инфраструктурой, для которых организация линий связи при помощи ЦРРЛ практически безальтернативна. Но их применение этими случаями не ограничивается. В настоящее время ЦРРЛ всех диапазонов радиочастот широ-

ко используются для организации каналов связи между различными элементами сотовых сетей даже в чертах областных центров. Очевидным преимуществом ЦРРЛ перед прокладкой оптических линий связи в данном случае является быстрота и относительная дешевизна организации линии связи. Помимо этого, ЦРРЛ нередко используются в энергетике в качестве резервных каналов связи. Такое их активное использование уже приводит к дефициту свободного радиочастотного ресурса, необходимого для организации их работы, причем проблема становится все острее в связи с постоянным ростом требований к объему и скорости передаваемых по сетям связи данных. Диапазоны радиочастот 7,9-8,4 ГГц; 10,7-11,7 ГГц; 12,75-13,25 ГГц, предназначенные для организации работы радиорелейных линий и имеющие наиболее выгодные с точки зрения ослабления радиоволн в гидрометеорах характеристики, загружены практически полностью. В настоящее время идет вынужденное освоение более высоких диапазонов радиочастот: 17,7-19,7 ГГц; 21,2-23,6 ГГц; 36-40,5 ГГц, а также безлицензионных диапазонов 71-76 ГГц; 81-86 ГГц и 92-94 ГГц. Очевидно, что с течением времени потребность в использовании ЦРРЛ будет только возрастать, а значит, в недалеком будущем можно ожидать полного исчерпания радиочастотного ресурса и в этих диапазонах. Освоение же еще более высоких диапазонов радиочастот сталкивается с очевидными трудностями, среди которых можно выделить значительное поглощение радиоволн в гидрометеорах, сложность построения аппаратуры связи и обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств.

В сложившейся ситуации особенно важным становится рациональное, эффективное и экономное отношение к имеющемуся в распоряжении ограниченному природному ресурсу – радиочастотному спектру (РЧС). Такое отношение предполагает его использование исходя из принципа разумной достаточности. Применительно к ЦРРЛ это означает, что выбранные энергетические параметры проектируемой ЦРРЛ должны быть минимальными, но при этом обеспечивающими ее удовлетворительную работу с требуемым запасом на замирания. Здесь и далее под запасом на замирания будем понимать превышение уровня принимаемого сигнала над уровнем чувствительности приемника при заданной частоте битовых ошибок (Bit Error Rate, далее BER). Основными параметрами, определяющими энергетику пролета ЦРРЛ, являются коэффициенты усиления антенн и мощности передатчиков. В связи с тем,

что указанные параметры одновременно влияют и на возможность повторного назначения одних и тех же радиочастотных каналов на ограниченной территории, представляется целесообразным оценить обоснованность их выбора на этапе проектирования.

Вопросам эффективного использования РЧС посвящено некоторое количество ранее опубликованных работ, среди которых можно отметить [2-4]. Авторами отмечается резкий рост потребления услуг в беспроводных сетях передачи данных, предлагаются как экономические, так и технические методы повышения эффективности использования РЧС. Экономические методы управления РЧС весьма специфичны и в рамках данной публикации не рассматриваются. Среди технических методов предлагаются такие, например, как внедрение новых технологий радиосвязи, оптимизация передаваемого интернет-трафика, внедрение механизма динамического управления РЧС (так называемое «когнитивное радио») [5-8]. Не отрицая важности этих решений, отметим, что отдельным проблемам, а именно оптимизации параметров работы ЦРРЛ с целью более эффективного использования ими РЧС, имеющей существенное практическое значение, не уделено достаточного внимания.

Цель статьи – оценка эффективности использования РЧС радиорелейными линиями, выявить имеющиеся ресурсы для повышения эффективности его использования, предложить возможные решения для повышения эффективности использования РЧС.

### Проведение оценки

На этапе проектирования ЦРРЛ определяются, помимо прочего, значения коэффициентов усиления антенн РРЛ и мощностей их передатчиков, составляется частотно-территориальный план, который впоследствии проходит ряд экспертиз, в том числе на предмет возможности использования заявленных радиоэлектронных средств (РЭС) и их электромагнитной совместимости (ЭМС) с действующими и планируемыми для использования РЭС. В соответствии с действующим на данный момент решением Государственной комиссии по радиочастотам (ГКРЧ) [9], для проведения экспертизы ЭМС РЭС достаточно того, чтобы поступившая заявка соответствовала установленным требованиям, а также чтобы технические характеристики РЭС, которые планируется использовать, не превышали максимальных значений, изложенных в решении ГКРЧ для соответствующей полосы радиочастот. При

этом организация, проводящая экспертизу ЭМС, не вправе потребовать от заявителя обосновать выбранные параметры работы РЭС (мощность, коэффициент усиления антенны и др.) или принять самостоятельное решение о снижении этих параметров в случае их явно необоснованного завышения. Такое положение вещей, очевидно, не способствует уменьшению дефицита РЧС в наиболее загруженных полосах радиочастот.

Таблица 1. Максимальные значения мощностей передатчиков РРС по диапазонам радиочастот в соответствии с решениями ГКРЧ по состоянию на сентябрь 2017 г.

Диапазон радиочастот, ГГц	Номер решения ГКРЧ	Максимальная разрешенная мощность передатчика РРС, Вт
7,25-7,55	09-04-06-2	1*
7,9-8,4	09-01-06	1*
10,7-11,7	09-03-04-1	1
12,75-13,25	09-02-08	0,5
14,5-15,35	08-23-09-001	0,5
17,7-19,7	07-21-02-001	0,5
21,2-23,6	06-16-04-001	0,5
24,25-29,50	09-03-04-2	0,5
36-40,5	06-14-02-001	0,5
71-76; 81-86	10-07-04-1	0,15
92-94; 94,1-95	10-07-04-2	0,15

\* Дополнительно ограничивается максимальная ЭИИМ передатчиков на уровне 55 дБВт

Отметим, что максимальные возможные значения мощностей передатчиков ЦРРЛ и, в некоторых случаях, их эквивалентной изотропно излучаемой мощности (ЭИИМ) на территории РФ определяются в отдельности для каждого диапазона радиочастот соответствующими решениями ГКРЧ, которые могут быть использованы неограниченным кругом лиц для упрощенного получения разрешений на использование радиочастот [9-10]. Для справки в таблице 1 приведены эти значения для радиорелейных станций (РРС) разных диапазонов радиочастот.

Приведем в таблице 2 статистические данные о фактических значениях мощностей передатчиков РРС, зарегистрированных установленным

порядком на территории Томской области (взято для примера) с разбивкой по диапазонам радиочастот. Данные получим из [11] по состоянию на сентябрь 2017. Это позволит нам оценить количество радиорелейных станций, использующих максимальную разрешенную по решению ГКРЧ мощность.

Таблица 2. Статистические данные о мощностях передатчиков РРС, зарегистрированных на территории Томской области

Диапазон радиочастот, ГГц	Число РРС, шт.	Число РРС, использующих максимальную разрешенную мощность	
		ед.	ед.
7,25-7,55	471	154	32,7
7,9-8,4	513	57	11,1
10,7-11,7	367	35	9,5
12,75-13,25	227	46	20,3
14,5-15,35	543	344	63,4
17,7-19,7	194	39	20,1
21,2-23,6	644	160	24,8
24,25-29,50	8	0	0,0
36-40,5	299	0	0,0
71-76; 81-86	462	148	32,0
92-94; 94,1-95	0	0	0

Руководящего документа, регламентирующего требуемое значение запаса на замирания для ЦРРЛ нет, но из [12] известны типовые рекомендуемые значения запаса на замирания для РРС различных диапазонов радиочастот: для диапазона радиочастот 5,67-8,4 ГГц оно равно 37 дБ. Выполним расчет потерь при распространении радиоволн для конкретной радиорелейной линии, использующей максимальную разрешенную по решению ГКРЧ мощность, и сравним полученные значения запаса на замирания с рекомендованным в [12]. Для примера рассмотрим ЦРРЛ, которая расположена на территории Томской области, имеет среднюю частоту рабочего диапазона 8,15 ГГц, реальную чувствительность приемников (при заданном BER) –102 дБВт.

Коэффициент усиления антенн на передающей и приемной сторонах всех пролетов РРЛ одинаков и равен 41 дБ. Расчет произведем с учетом рельефа и подстилающей поверхности мест-

ности с помощью программного комплекса [13]. Результаты расчета приведены в таблице 3, схема построения ЦРРЛ приведена на рисунке 1.

Для расчета потерь при распространении радиоволн используем методику [14]. Покажем процесс проведения расчетов по этой методике на примере пролета А-В рассматриваемой ЦРРЛ. При помощи программного комплекса [13] построим продольный профиль рассматриваемого пролета с учетом рельефа и подстилающей поверхности местности (см. рисунок 2а), а также его трехмерную модель (см. рисунок 2б), которую используем для проведения расчетов.

Таблица 3. Расчет потерь на трассе ЦРРЛ

Пролет РРЛ	Длина пролета, км	Затухание сигнала в дожде, дБ	Дифракционные потери при средней рефракции, дБ	Потери распространения в свободном пространстве, дБ	Ослабление в атмосферных газах, дБ	Запас на замирания, дБ
A-B	41,8	9,6	0	143,1	0,49	39,6
B-C	37,2	8,6	0	142,1	0,44	40,7
C-D	37,9	8,7	0	138,0	0,32	44,9
D-E	36,6	8,4	0	141,9	0,43	40,9
E-F	29,8	6,9	0	140,2	0,35	42,7
F-G	25,2	5,8	0	138,7	0,30	44,2
G-H	38,8	9,0	0	142,5	0,46	40,3
H-I	21,5	5,0	0	137,3	0,25	45,7
I-J	46,5	10,7	0	144,2	0,56	38,5
J-K	29,4	6,8	0	140,2	0,35	42,7
K-L	29,4	6,8	0	140,2	0,35	42,7

Произведенный расчет показывает, что лишь на двух интервалах запас на замирания имеет значение, близкое к рекомендованному: на интервале A-B он равен 39,6 дБ, на интервале I-J равен 38,5 дБ. На остальных интервалах фактический запас на замирания существенно превышает рекомендованное значение и составляет от 40,3 до 45,7 дБ.

На рисунках 2а-б, использованы данные, полученные Национальным Агентством Геопромышленной Разведки США (NGA) методом дистан-

ционного зондирования Земли во время одной из миссий космического шаттла «Endeavour» (Shuttle Radar Topography Mission, SRTM).

В ходе данной миссии были получены данные о рельефе и подстилающей поверхности для 80% суши между 60° северной и 56° южной широты. Отсчеты по высоте рельефа получены с точностью до одной угловой секунды, то есть приблизительно через каждые 30 м [15]. Результаты проведенных ранее выборочных измерений высоты на местности подтвердили точность используемых данных [16].

## Выводы

1. На примере Томской области показано, что число РРС, использующих максимальную разрешенную по решению ГКРЧ мощность, составляет до 63,4% от общего числа для отдельно взятого диапазона радиочастот.

2. На примере ЦРРЛ, использующей максимальную мощность, показано, что на большинстве интервалов фактически имеющийся запас на замирания существенно (от 3 до 8 дБ) превышает рекомендуемый.

3. Необоснованно завышенные энергетические параметры ЦРРЛ уменьшают возможность повторного назначения одних и тех же радиочастотных каналов на ограниченной территории, снижают эффективность использования ограниченного природного ресурса – РЧС.

4. Дефицит радиочастотного ресурса, имеющийся в отдельных полосах радиочастот, предназначенных для работы ЦРРЛ, в некоторой степени обусловлен его неэффективным использованием. Учитывая взрывной рост потребления услуг связи, это в недалеком будущем может привести к полному исчерпанию возможных для назначения радиочастот.

5. Возможным решением этой проблемы могло бы стать внесение изменений в существующий порядок проведения экспертизы ЭМС РЭС. Целесообразным было бы введение дополнительных требований к заявкам на проведение экспертизы ЭМС РЭС для ЦРРЛ об обосновании выбранных энергетических параметров их работы. В настоящее время заявитель обязан представлять для проведения экспертизы ЭМС РЭС лишь частотно-территориальный план и набор тактико-технических характеристик РЭС. Введение дополнительного требования о предоставлении на экспертизу ЭМС РЭС расчета качественных показателей ЦРРЛ (включая и расчетный запас на замирания) могло бы помочь оценить обоснованность выбора энергетических параметров ра-



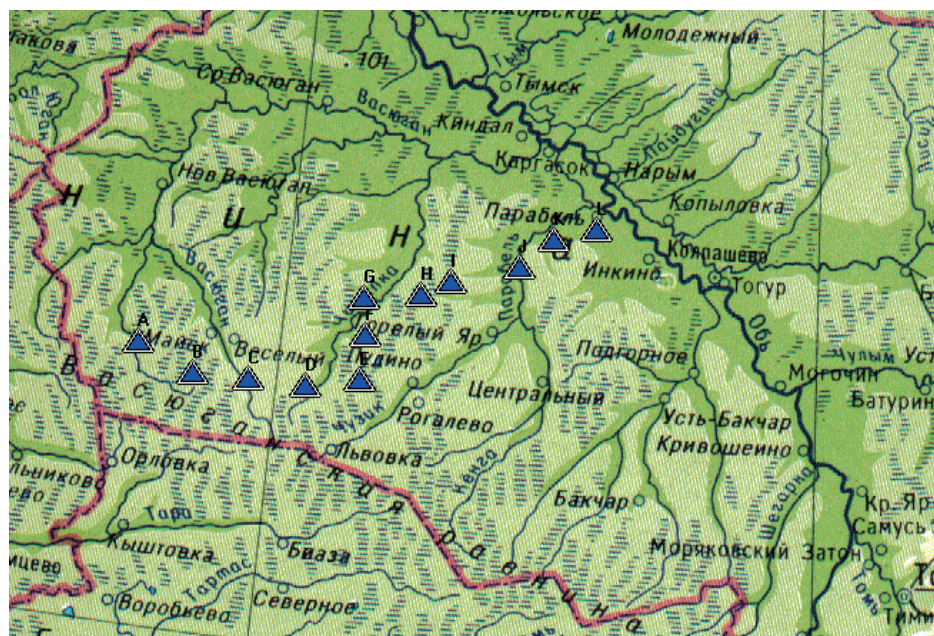


Рисунок 1. Схема построения рассматриваемой ЦРРЛ

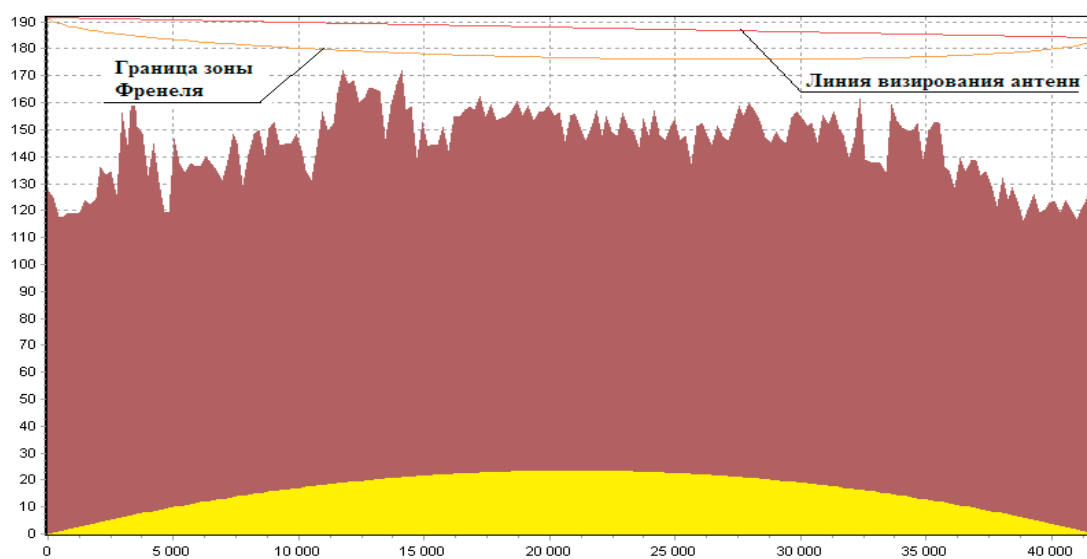


Рисунок 2а. Продольный профиль пролета А-В с учетом рельефа и подстилающей поверхности местности

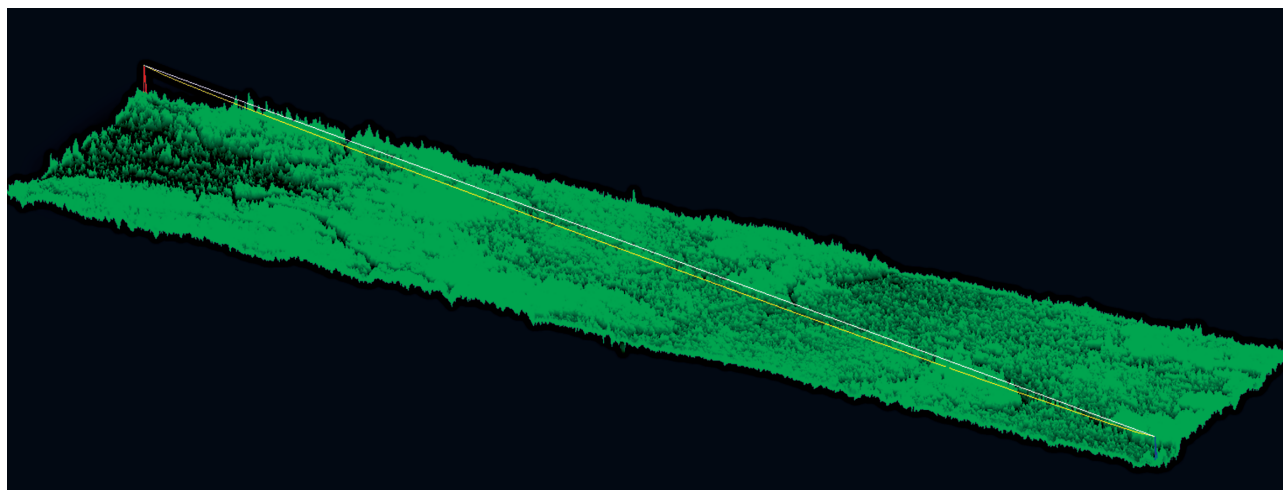


Рисунок 2б. Трехмерная модель пролета А-В

боты ЦРРЛ и при необходимости снизить их до разумных пределов на этапе экспертизы. Работа выполнена при поддержке Министерства науки и образования РФ, проект 8.9562.2017.8.9.

### Литература

1. Статистика отрасли // URL: <http://minsvyaz.ru/ru/activity/statistic/statistika-otrasli> (д.о. 07.09.2017).
2. Ерохин С.Д. Методы повышения эффективности использования радиочастотного спектра в широкополосных сетях передачи данных // Телекоммуникации и транспорт. – 2013. – №1 – С. 29-32.
3. Коваль В.А., Володин В.Н., Стадинчук А.С. Вероятные направления реформирования системы управления использованием радиочастотного спектра // Электросвязь. – 2011. – № 10. – С.21-24.
4. Виноградов Е.М. Современные направления повышения эффективности использования радиочастотного спектра и внедрения новых радиотехнологий // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2016. – Т. 4, №1. – С.68-78.
5. Shweta Pandit, G. Singh. Throughput maximization with reduced data loss rate in cognitive radio network // Telecommunication Systems. – 2014. – Vol. 57. – Iss. 2. – P. 209-215. doi: 10.1007/s11235-013-9858-z.
6. Marcela M. Gomez, Martin B.H. Weiss. Wireless Network Virtualization: Opportunities for Spectrum Sharing in the 3.5GHz Band // EAI Endorsed Transactions on Wireless Spectrum/ – 2017. – Vol. 3, Iss. 10. – P. 209-215. doi: 10.1007/978-3-319-40352-6\_19.
7. Syed Shakeel Hashmi, Syed Abdul Sattar, K. Soundararajan. Optimal Spectrum Utilization and Flow Controlling In Heterogeneous Network with Reconfigurable Devices // International Journal of Electronics and Telecommunications. – 2017. – Vol. 63. – Iss. 3. – P. 269-277. doi: 10.1515/eletel-2017-0036.
8. Si Chen, Alexander M. Wyglinski. Efficient spectrum utilization via cross-layer optimization in distributed cognitive radio networks. // Computer Communications. – 2009. – Vol. 32. – Iss. 18. – P. 1931-1943. doi: 10.1016/j.comcom.2009.05.016
9. Порядок проведения экспертизы возможности использования заявленных РЭС и их ЭМС с действующими и планируемыми для использования РЭС, решение ГКРЧ №16-39-01 // URL: <http://minsvyaz.ru/ru/documents/5314>, (д.о. 07.09.2017).
10. Об утверждении Положения о ГКРЧ: Постановление Правительства РФ от 02.07.2004 №336 (ред. от 07.03.2017) // URL: <http://pravo.gov.ru> (д.о. 02.05.2018).
11. Радиоэлектронные средства. Федеральная АИС в области использования РЧС и средств массовой коммуникации // URL: <http://fais-rfs.ru/radio> (дата обращения: 07.09.2017).
12. Методика расчета ЭМС земных станций фиксированной спутниковой службы и радиорелейных станций фиксированной службы гражданского назначения в полосах частот совместного использования от 1 ГГц до 40 ГГц. ЛОНИИР, 2005.
13. Программа для расчета цифровых радиорелейных линий «РРЛ Проект» // URL: <http://nrfyar.ru/crrl.html> (д.о. 07.09.2017).
14. ГОСТ Р 53363-2009. Цифровые радиорелейные линии. Показатели качества. Методы расчета. Введен 2010.01.01. – М.: Стандартинформ, 2010. – 35 с.
15. Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 Arc-Second Global // Официальный сайт Геологической службы США (United States Geological Survey) // URL: <https://lta.cr.usgs.gov/SRTM1Arc> (д.о. 02.05.2018).
16. Шмаков Д.Б. Использование данных о рельефе и подстилающей поверхности местности, полученных методом дистанционного зондирования Земли, при проектировании цифровых радиорелейных линий связи // Материалы РНТК «Системы связи и радионавигации». – Красноярск, АО «НПП «Радиосвязь», 2016. – С. 47-50.

*Получено 31.07.2018*

**Шмаков Дмитрий Борисович**, аспирант Кафедры телевидения и управления (ТУ) Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР). Тел. +7-913-807-84-63. E-mail: [dshrfc@gmail.com](mailto:dshrfc@gmail.com)

**Газизов Тальгат Рашитович**, д.т.н, с.н.с., заведующий Кафедрой ТУ ТУСУР. Тел. +7-913-826-07-24. E-mail: [talgat@tu.tusur.ru](mailto:talgat@tu.tusur.ru)

## ASSESSMENT OF SPECTRUM UTILIZATION EFFICIENCY IN RADIO-RELAY SYSTEMS

*Shmakov D.B., Gazizov T.R.*

*Tomsk State University of Control Systems and Radio Electronics, Tomsk, Russian Federation*

*E-mail: dshrfc@gmail.com*

The problem of efficiently utilizing such a limited natural resource as spectrum in radio-relay systems is described. It is shown that there is a shortage of frequency spectrum in certain radio frequency bands. For Tomsk region, the spectrum utilization efficiency in 8 GHz radio-relay systems is assessed. Radio signal path loss and fade margins were calculated for the intervals of the radio relay system. The underlying terrain data used in the calculations were obtained by remote sensing of the Earth with an accuracy of one angular second. Several possible solutions to increase spectrum utilization efficiency are proposed.

**Keywords:** *radiofrequency spectrum management, radio-relay system, utilization efficiency assessment*

**DOI:** 10.18469/ikt.2018.16.4.07

**Shmakov Dmitry Borisovich**, Tomsk State University of Control Systems and Radio Electronics, Lenina prosp., 40, Tomsk, 634050, Russian Federation; PhD Student of the Department of Television and Control. Tel. +79138078463. E-mail: dshrfc@gmail.com

**Gazizov Talgat Rashitovich**, Tomsk State University of Control Systems and Radio Electronics, Lenina prosp., 40, Tomsk, 634050, Russian Federation; Head of the Department of Television and Control, Doctor of Technical Science, Senior Researcher. Tel. +79138260724. E-mail: talgat@tu.tusur.ru

### References

1. The branch statistics. Available at: <http://minsvyaz.ru/ru/activity/statistic/statistika-otrasli> (accessed 07.09.2017). (In Russia)
2. Erokhyn S.G. Metody povysheniya ehffektivnosti ispol'zovaniya radiochastotnogo spektra v shirokopolosnykh setyakh peredachi dannykh. [Methods to improve the efficiency of use the radio spectrum for broadband data networks]. *T-Comm – Telekommunikacii i transport*, 2013, no. 1, pp. 29-32.
3. Koval V.A., Volodin V.N., Stadinchuk A.S. Veroyatnye napravleniya reformirovaniya sistemy upravleniya ispol'zovaniya radiochastotnogo spektra. [Probable reformation trends in the radio-frequency spectrum's management system]. *Electrosvyaz*, 2011, no. 10, pp. 21-24.
4. Vinogradov E. Sovremennye napravleniya povysheniya ehffektivnosti ispol'zovaniya radiochastotnogo spektra i vnedreniya novykh radiotekhnologij. [State-of-the-art ways for increasing spectrum efficiency and implementation of new radio technologies]. *Informacionnye tekhnologii i telekommunikacii*, 2016, no. 1, vol. 4, pp. 68-78.
5. Shweta Pandit, G. Singh. Throughput maximization with reduced data loss rate in cognitive radio network. *Telecommunication Systems*, 2014, vol. 57, no. 2, pp. 209-215. doi: 10.1007/s11235-013-9858-z.
6. Marcela M. Gomez, Martin B.H. Weiss. Wireless Network Virtualization: Opportunities for Spectrum Sharing in the 3.5GHz Band. *EAI Endorsed Transactions on Wireless Spectrum*, 2017, vol. 3, no. 10, pp. 209-215. doi: 10.1007/978-3-319-40352-6\_19.
7. Syed Shakeel Hashmi, Syed Abdul Sattar, K. Soundararajan. Optimal Spectrum Utilization and Flow Controlling In Heterogeneous Network with Reconfigurable Devices. *International Journal of Electronics and Telecommunications*, 2017, vol. 63, no. 3, pp. 269-277. doi: 10.1515/eletel-2017-0036.
8. Si Chen, Alexander M. Wyglinski. Efficient spectrum utilization via cross-layer optimization in distributed cognitive radio networks. *Computer Communications*, 2009, vol. 32, no. 18, pp. 1931-1943. doi: 10.1016/j.comcom.2009.05.016.
9. State Radio Frequency Commission Decree No. 16-39-01 dated 07 November 2016. Regulations on examining electromagnetic interference of radio electronic means, electromagnetic compatibility testing and radio frequency assignment. Available at: <http://minsvyaz.ru/ru/documents/5314> (accessed 07.09.2017). (In Russia)
10. RF Government Decree No. 336 dated 02 July 2004. On approval of Regulations on the State Radio Frequency Commission. Available at: <http://pravo.gov.ru> (accessed: 02.05.2018). (In Russia)



11. Radio Electronic Means. Federal automated information-analytical system in the sphere of using the radio-frequency spectrum and mass media. Available at: <http://fais-rfs.ru/radio> (accessed 07.09.2017). (In Russ.)
12. EMC calculation technique for satellite-communications earth stations and radio-relay stations of civilian designation in the frequency band from 1 GHz to 40 GHz, LONIIR, 2005. (In Russ.)
13. Computer program for the design and engineering of digital radio-relay systems «RRL Proekt». Available at: <http://npfyar.ru/crrl.html> (accessed 07.09.2017). (In Russia)
14. GOST R 53363-2009. *Tsifrovyye radiorelejnyye linii. Pokazateli kachestva. Metody rascheta.* [National standard of the Russian Federation. Digital radio-relay links. Quality parameters. Calculation methods]. Moscow, Standartinform Publ., 2010, 35 p.
15. Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 Arc-Second Global. Available at: <https://lta.cr.usgs.gov/SRTM1Arc> (accessed 02.05.2018).
16. Shmakov D.B. Ispol'zovanie dannykh o rel'efe i podstilayushhej poverkhnosti mestnosti, poluchennykh metodom distantsionnogo zondirovaniya Zemli, pri proektirovaniі tsifrovyykh radiorelejnykh liniy svyazi. [Using the near surface geological structure data obtained by means of a satellite remote sensing technique for designing of digital radio relay systems]. Materialy RNTK «Sistemy svyazi i radionavigacii» [Materials of Russian Science Technical Conferencing «Communication and radio navigation systems»], Krasnoyarsk, NPP «Radiosvyaz», 2016, pp. 47-50.

Received 31.07.2018

## УПРАВЛЕНИЕ И ПОДГОТОВКА КАДРОВ ДЛЯ ОТРАСЛИ ИНФОКОММУНИКАЦИЙ

УДК: 004.67; 323.2

### АНАЛИЗ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ЗНАЧИМОСТИ СВЯЗЕЙ ЧИСЛА ПРЕСТУПЛЕНИЙ ТЕРРОРИСТИЧЕСКОГО ХАРАКТЕРА С ДРУГИМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ ПРЕСТУПНОСТИ В СУБЪЕКТАХ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

*Мордашкин В.К., Первунинских Д.В.*

*Научно-исследовательский и конструкторский институт радиоэлектронной техники –  
филиал ПО «Старт» им. М.В. Проценко, г. Заречный Пензенской обл., РФ  
E-mail: office@nikiret.ru*

В силу общественной значимости борьбе с терроризмом постоянно уделяется большое внимание как со стороны федеральных силовых структур, так и со стороны служб безопасности сооружений с массовым пребыванием людей и опасных производственных объектов. Поэтому преступления террористической направленности относятся к редким случайным событиям, каждое из которых формируется под воздействием собственной совокупности факторов. Это обстоятельство требует разработки подходов к оценке вероятности проявления терроризма. Задачи, связанные с прогнозированием террористических проявлений, возникают при оценке рисков террористических атак и эффективности систем безопасности потенциально-опасных объектов. В отчетных документах силовых структур субъектов РФ неоднократно отмечалось, что преступления террористической направленности имеют базу в преступной среде. На основе отчетных данных управлений Министерства внутренних дел по ряду субъектов Российской Федерации проведен корреляционный анализ наличия статистической связи количества преступлений террористического характера с другими показателями преступности. Анализ проводился с использованием процедур табличного процессора Microsoft Excel. Получены вероятные и интервальные оценки линейного коэффициента корреляции, доверительные вероятности и значения стандартной ошибки. Характер статистической связи установлен по шкале Чеддока. В результате подтверждено наличие связи между числом преступлений и частотой проявлений преступлений террористической направленности. Установлены уровни статистической связи числа преступлений различных видов и частотой проявлений преступлений террористической направленности на территории субъекта РФ в соответствующие интервалы времени..

**Ключевые слова:** преступления террористического характера, статистическая связь, показатели преступности, данные управлений МВД по субъектам РФ